



Chiacchiere sul Quantum Computing

(ovvero)

lele Tripiccione

Pisa, 17 Gennaio 2020



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Chiacchiere sul Quantum Computing

(introduzione al talk di Davide...)

lele Tripiccion

Pisa, 17 Gennaio 2020



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Sommario:

1. Calcolatori “classici”
2. Una questione di “definizione” → Quantum 1.0 vs 2.0
3. Citazioni da Feynman
4. Simulatori e calcolatori “quantistici” vs. “classici”
5. Quantum technologies per l' INFN

Calcolatori classici: una definizione “sufficientemente teorica”

Un black box:

Parto da C^0 arbitraria configurazione di bit

$$C^K = \{b_N^K, b_{N-1}^K, \dots, b_0^K\} \quad b_l \in \{0,1\} \quad N \approx 10^{16}$$

Esiste un set di trasformazioni (istruzioni) che trasformano ogni configurazione in un'altra

$$T_m: C^K \rightarrow C^{K'}$$

Eseguo un “programma” che produce una configurazione finale

$$C^F = (T_F \ T_{F-1} \ \dots \ T_1 \ T_0) C^0$$

C^0 codifica in un qualche formato i miei dati iniziali ...

C^F codifica la risposta alle mie domande (se il programma e' corretto...)

Calcolatori classici: una definizione “sufficientemente teorica”

Enorme sviluppo tecnologico di questo concetto negli ultimi 50-60 anni:

- *Alcuni numeri (ovvi ma impressionanti) →*

$$N \sim 10^{16}$$

Tempo medio di esecuzione di ogni $T_m \sim 10^{-15}$ sec

Computing Depth $\sim 10^{20}$

- *Strumenti raffinatissimi per sviluppare i corretti $(T_F \ T_{F-1} \ \dots \ T_1 \ T_0)$*

Classici oppure Quantum 1.0???

*I calcolatori sono basati sui transistor (e le comunicazioni ottiche sui laser),
il cui funzionamento puo' essere descritto solo in ambito quantistico*

Classici oppure Quantum 1.0???

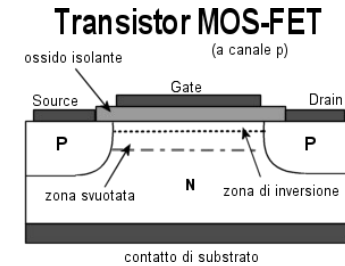
*I calcolatori sono basati sui transistor (e le comunicazioni ottiche sui laser),
il cui funzionamento puo' essere descritto solo in ambito quantistico*

Densita' degli e⁻ di conduzione: 10^{21} cm^{-3}

Dimensione di un gate: $(100 \times 10 \times 10) \text{ nm}^3 \sim 10^{-17} \text{ cm}^3$

*Un transistor conduce (o non conduce) corrente
controllando popolazioni di almeno $\sim 10^4 e^-$*

*Dunque → la fenomenologia macroscopica dei transistor si basa su valori medi su
numeri “grandi” di elettroni → Struttura “classica”....*



Classici oppure Quantum 1.0???

*I calcolatori sono basati sui transistor (e le comunicazioni ottiche sui laser),
il cui funzionamento puo' essere descritto solo in ambito quantistico*

Ancora piu' evidente per le comunicazioni su fibra ottica

Un link ottico con banda $B = 100 \text{ Gbit/sec}$ e usa una potenza $P \sim 3 \text{ W}$ →

Ogni bit e' trasportato da un numero di fotoni
$$N_y = \frac{P\lambda}{hc} \times \frac{1}{B} \approx 10^8 \quad (\lambda \approx 850 \text{ nm})$$

Anche in questo caso il comportamento macroscopico e' del tutto classico!!!

Quantum 1.0 vs Quantum 2.0

Per osservare effetti quantistici devo costruire controllare e misurare la dinamica coerente

(e non il valor medio statistico) di singoli gradi di liberta' del mio sistema

Se questo succede →

calcolatori (o simulatori o dispositivi o canali di comunicazione) quantistici →

Quantum 2.0

Citazioni da R. P. Feynmann, Simulating physics with computers, Int. J. of Theoretical Physics, 21 (1982)

Quantum simulation →

I therefore believe that it's true that with a suitable class of quantum machines you could imitate any quantum system, including the physical world.

Citazioni da R. P. Feynmann, Simulating physics with computers, Int. J. of Theoretical Physics, 21 (1982)

(Universal) Quantum computing →

It has been found that there is a kind of [classical] universal computer that can do anything, and it doesn't make much difference specifically how it's designed.

*The same way we should try to find out what kinds of **quantum mechanical systems** are mutually intersimulable, and try to find **a specific class, or a character of that class, which will simulate everything***

Calcolatori QUANTISTICI: una definizione “sufficientemente teorica”

Ancora una volta un “black box”:

Qbit: grado di liberta' quantistico “semplice” (sistema a due “soli” livelli)

$|q\rangle$ vive in uno spazio vettoriale con base $\{|+\rangle, |-\rangle\}$, o, se piace di piu', $\{|0\rangle, |1\rangle\}$

N Qbit vivono nello spazio vettoriale descritto sulla base canonica

$|B\rangle_N = \{|b_N\rangle |b_{N-1}\rangle \dots |b_0\rangle\}$ $|b_j\rangle$ in $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ $N \sim 10 \dots 50$

Uno stato $|S^K\rangle$ e' una sovrapposizione dei $|B\rangle_N$ con arbitrari coefficienti

L'evoluzione di $|S^K\rangle$ e' descritta da operatori unitari \rightarrow $|S^K\rangle = U |S^K\rangle$

La sequenza ordinata di tanti operatori applicati allo stato e' il “programma” quantistico.

$$|S^F\rangle = U_F U_{F-1} \dots U_0 |S^0\rangle$$

CLASSICO vs. QUANTISTICO

In principio:

- Un “registro quantistico” e’ in grado di immagazzinare una quantita enorme di informazione

($N = 50$ permette una sovrapposizione di $2^{50} \sim 10^{15}$ termini) →

Calcolo “intrinsecamente” parallelo – Dimostrata una drastica riduzione della complessita’ comp.

- Ma:

L’ instruction-set e’ costituito solo da operatori unitari

se il registro viene misurato “collassa” su uno degli autostati (OKKIO a cosa si misura)

uno registro NON puo’ essere copiato senza essere distrutto (no cloning theorem)

OKKIO quindi a come realizzare gli IF

CLASSICO vs. QUANTISTICO

In pratica:

Tecnologia emergente e non stabilizzata (SQUID, Atomi Freddi, Ioni, Fotoni polarizzati ???)

Necessita' di mantenere la coerenza dello stato (nessuna interazione con l' ambiente) ...

... in ogni caso difficile da gestire (criogenia piu' o meno spinta)

Nessuna metodologia efficace disponibile per scrivere i corretti programmi

D'altra parte →

CLASSICO vs. QUANTISTICO

In pratica:

Tecnologia emergente e non stabilizzata (SQUID, Atomi Freddi, fotoni polarizzati ???)

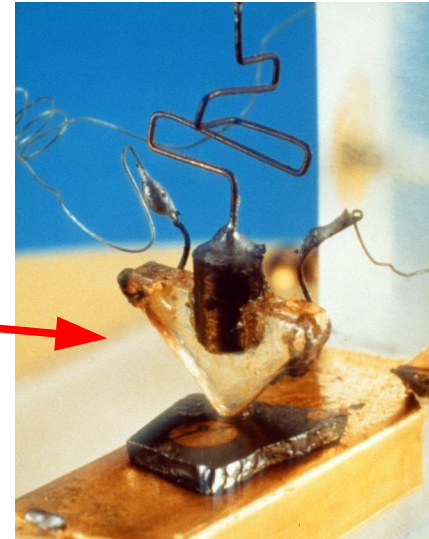
Necessita' di mantenere lo stato coerente (nessuna interazione con l' ambiente)

In ogni caso difficile da gestire (criogenia piu' o meno spinta)

Nessuna metodologia efficace disponibile per scrivere i corretti programmi

D'altra parte →

*Chi avrebbe potuto pensare che questo scarrafone avrebbe
influenzato la tecnologia, l'economia, la societa del XX+ secolo????*

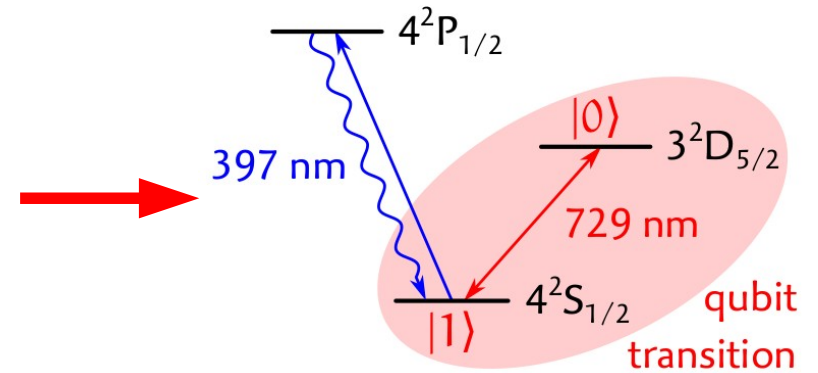
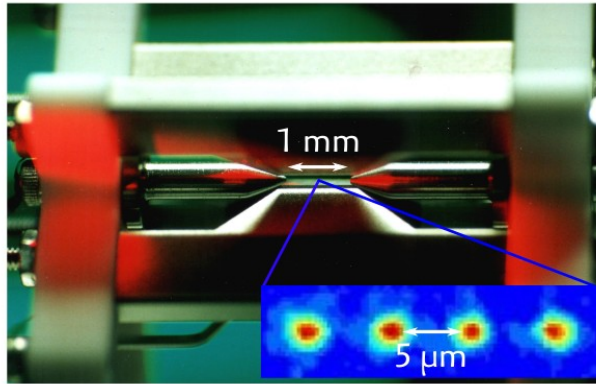


Quantum technologies

Come si costruisce un QBIT? → chiedere a Davide e Oliver

Per ora:

AQT

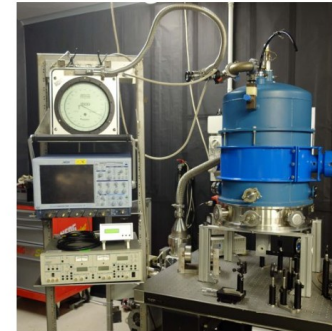
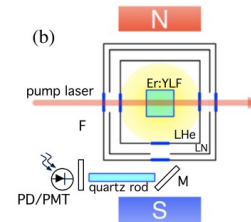
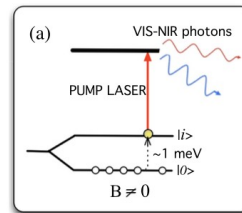


E se uno sa gestire correttamente questi oggetti puo' utilizzarli in contesti diversi →

Dispositivi quantistici come detector per la fisica fondamentale

Un esempio: quantum sensing alla ricerca degli assioni

AXION DETECTION WITH ATOMIC TRANSITIONS



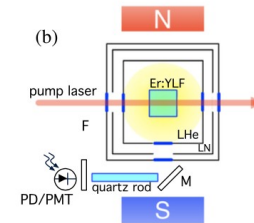
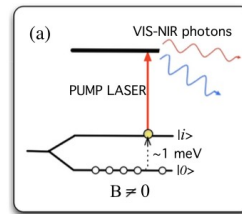
- ▶ axion-induced transitions take place between Zeeman-split ground state levels in **rare-earth doped materials**
- ▶ transitions involve electrons in the 4f shell (as if they were free atoms...)
- ▶ a tunable laser pumps the excited atoms to a **fluorescent level**
- ▶ crystal immersed in LHe and superfluid He

Dispositivi quantistici come detector per la fisica fondamentale

Un esempio: quantum sensing alla ricerca degli assioni

Sforzo importante dell' INFN
per capire in che direzione muoversi
da questo punto di vista

AXION DETECTION WITH ATOMIC TRANSITIONS



- ▶ axion-induced transitions take place between Zeeman-split ground state levels in **rare-earth doped materials**
- ▶ transitions involve electrons in the 4f shell (as if they were free atoms...)
- ▶ a tunable laser pumps the excited atoms to a **fluorescent level**
- ▶ crystal immersed in LHe and superfluid He



That's all folks

